

ARCHITECTURE TRANSPARENTE EN FIBRE MULTIMODE ET TECHNOLOGIE CWDM POUR UN RESEAU LOCAL DOMESTIQUE MULTIFORMAT

Francis Richard^{1,2}, Philippe Guignard¹, Anna Pizzinat¹, Laurent Guillo¹, Joffray Guillory¹,
Benoît Charbonnier¹, Eric Tanguy², et Hong Wu Li²

¹ Orange Labs, Lannion, France

² Université de Nantes, laboratoire IREENA, France

francis.richard@orange-ftgroup.com

RÉSUMÉ

Nous proposons une solution de réseau domestique optique, associant une architecture transparente basée sur la fibre multimode et la technologie CWDM. Des signaux de natures différentes et diverses topologies peuvent coexister sur cette infrastructure multiformat, ce qui lui confère une grande flexibilité et une forte évolutivité. Les problèmes, issus de l'association de la technologie CWDM avec des composants passifs multimodes, sont discutés.

MOTS-CLEFS : *réseau domestique ; architecture optique ; fibre multimode ; CWDM.*

1. INTRODUCTION

Avec d'une part la généralisation des réseaux d'accès large bande, qui apportent aux utilisateurs des contenus de plus en plus riches et, d'autre part, des besoins croissants d'interconnexion entre les équipements de la sphère résidentielle, un réseau local domestique (RLD) structuré et à haut débit va vite devenir une nécessité. Mais au-delà de la montée en débit, le plus grand défi pour le RLD réside sans doute dans l'hétérogénéité des signaux à transporter au sein de la maison : services « triple play » (3P) sur IP (Internet Protocol), signaux aux fréquences radio pour la diffusion de la TV (terrestre ou satellite), applications sans fil, des formats spécifiques comme les signaux HDMI (liaison haute définition (HD) entre lecteur de disque et TV). Aujourd'hui, tous ces signaux sont distribués sur des réseaux différents, car ils ne peuvent être encapsulés dans un seul format. Mais la coexistence de réseaux spécifiques sera vite intolérable pour l'utilisateur, et il sera nécessaire de converger vers une infrastructure unique transportant tous ces signaux. Compte tenu de la bande passante nécessaire, la fibre optique apparaît comme la meilleure candidate pour le support de transmission. Aujourd'hui, la plupart des solutions de réseau domestique sont centrées autour d'un élément actif, un commutateur ou un routeur, et destinées à des applications encapsulées sous IP. Apportant une première réponse au problème de la diversité de la nature des signaux, une solution en étoile active multiformat, basée sur le multiplexage fréquentiel électrique a été démontrée [1]. Mais cette approche risque de trouver rapidement ses limites et la solution la plus évolutive consiste à gérer l'hétérogénéité des signaux par un multiplexage optique en longueurs d'onde (WDM). Une telle approche de RLD a déjà été réalisée sur fibre monomode [2] pour laquelle la technologie de multiplexage en longueur d'onde CWDM (Coarse WDM) est mature. Dans ce papier, nous nous focalisons sur la fibre multimode silice à gradient d'indice, fibre la plus déployée actuellement dans les applications locales avec un coût cible d'installation et de connexion plus faible que la fibre monomode.

2. CONFIGURATION DU RESEAU IMPLEMENTE

L'étoile active n'est pas appropriée pour un environnement WDM puisque le nœud central constitue un élément bloquant pour les longueurs d'onde. L'architecture la plus adaptée est alors un réseau optique centré autour d'un coupleur passif N x N. Dans chaque pièce de la maison, des prises optiques murales sont alors connectées à ce coupleur via un câble bi-fibre, une fibre par sens de transmission. Le signal injecté, à une longueur d'onde donnée, à une entrée du coupleur, est diffusé à toutes les sorties du coupleur. Un filtre, près du récepteur, sélectionne alors la longueur d'onde de

l'application souhaitée. Non seulement la technologie WDM garantit la séparation des signaux de formats incompatibles (analogiques et numériques) mais, de plus, associée à une infrastructure transparente et pleinement connectée comme celle organisée autour d'un coupleur N x N, elle permet d'émuler simultanément plusieurs architectures de réseau comme le point-à-point (*P2P*), le point-à-multipoint (*P2Mpt*) et le multipoint-à-multipoint (*Mpt2Mpt*). Nous avons ainsi mis en œuvre quatre applications sur une architecture basée sur la fibre multimode silice à gradient d'indice 50/125 μm et centrée sur un coupleur 8 x 8 (figure 1) :

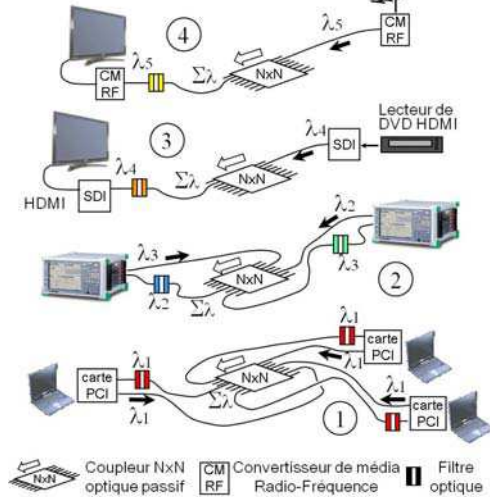


Fig. 1: Configuration du réseau réalisé

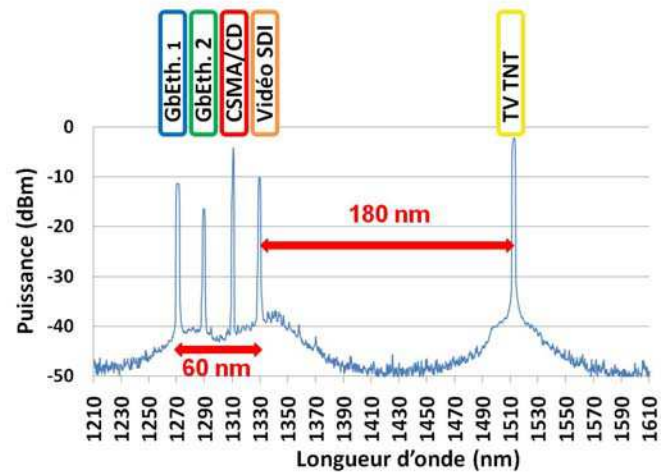


Fig. 2: Spectre des longueurs d'onde implémentées

- Une application dérivant des réseaux locaux de type LAN sur topologie Mtp2Mtp : trois ordinateurs (PC) ont été interconnectés grâce à des cartes Ethernet 100 Mbit/s optiques fonctionnant à $\lambda_1 = 1310 \text{ nm}$ et implémentant le protocole CSMA/CD (figure 1, ①). Le rôle de cette application est d'assurer les échanges au niveau IP entre les terminaux connectés.

- Une liaison Gigabit Ethernet : un lien bidirectionnel Gigabit Ethernet a été réalisé en utilisant les deux longueurs d'onde $\lambda_2 = 1270 \text{ nm}$ et $\lambda_3 = 1290 \text{ nm}$ (figure 1, ②) pour démontrer la possibilité de réaliser une connexion P2P à haut débit entre deux équipements pour, par exemple, une application de stockage de données à distance.

- Une liaison vidéo HD (P2P) : un signal SDI (Serial Digital Interface) à 1,4 Gbit/s a été transmis entre un lecteur Blu-Ray et une TV après conversion optique à la longueur d'onde $\lambda_4 = 1330 \text{ nm}$ (figure 1, ③).

- Un service de TV diffusée (P2Mpt) : un signal radio TNT, provenant d'une antenne de toit, et modulant un laser à $\lambda_5 = 1510 \text{ nm}$ a été diffusé sur l'infrastructure transparente (figure 1, ④).

Pour chaque application, des filtres de type OADM (Optical Add & Drop Multiplexer), conçus pour fibre multimode, ont été utilisés pour sélectionner la longueur d'onde souhaitée. Ces quatre applications ont fonctionné simultanément, comme le montre le spectre optique de la figure 2.

Le tableau 1 précise le budget optique pour les différentes applications. La marge a été calculée pour chaque cas, en tenant compte des pertes d'insertion des connecteurs et des OADM insérés dans chaque lien. L'atténuation de la fibre n'est pas incluse, étant négligeable dans les courtes liaisons (quelques dizaines de mètres) du réseau domestique.

3. PROBLEMES RESULTANT DE L'ASSOCIATION DES TECHNOLOGIES MONO- ET MULTIMODE

La principale difficulté rencontrée a été le manque de sources CWDM pour la technologie multimode. Typiquement, les systèmes pour fibre multimode utilisent des lasers de type VCSEL et Fabry-Pérot (FP) à 850 et 1310 nm. Pour disposer des bonnes associations émetteurs/filtres, nous avons dû mettre en œuvre des lasers DFB (Distributed FeedBack), dédiés à la technologie monomode, et donc travailler dans des conditions d'injection restreinte des modes (RML) de la fibre. Cela a

Tab. 1: Budgets optiques des quatre applications

Signal	λ (nm)	Budget optique (dB)	Pertes d'insertion (dB)			Marge (dB)
			Connexions	OADM	Coupleur 8 x 8	
GbE	1270	30	2,4	1,4	1,5 à 18,9	7,3 à 24,7
	1290	30	2,4	1,4	2,9 à 20,4	5,8 à 23,3
CSMA/CD	1310	24	2,4	1,5	4,5 à 15,7	4,4 à 15,6
SDI	1330	21	2,4	1,4	5,9 à 13,3	3,9 à 11,3
TNT	1510	16	2,4	1,4	2,6 à 15,7	-3,5 à 9,6

impacté fortement l'uniformité de la puissance optique aux sorties du coupleur multimode [3]. La figure 3 représente les pertes d'insertion du coupleur 8 x 8 pour toutes les combinaisons d'entrées/sorties, pour une source multimode, un VCSEL à 850 nm (figure 3a) et, pour une source monomode, un laser DFB à 1270 nm figure 3b). Avec le VCSEL, les pertes d'insertion du coupleur 8 x 8 sont de 8,8 à 10,6 dB. La bonne uniformité est confirmée par une seconde source multimode, un laser FP à 1300 nm, avec des pertes d'insertion de 8,2 à 10,6 dB. Par contre, avec un laser DFB, les pertes d'insertion varient de 3,2 à 18,7 dB. Cette grande dispersion montre la non-uniformité du coupleur sous conditions RML pouvant significativement limiter les performances des applications, en réduisant considérablement le budget optique. Grâce au large budget disponible pour la plupart des applications, ce phénomène n'a pas perturbé la distribution des services. Seule la diffusion de signaux TNT a été affectée pour quelques combinaisons de ports entrée/sortie du coupleur.

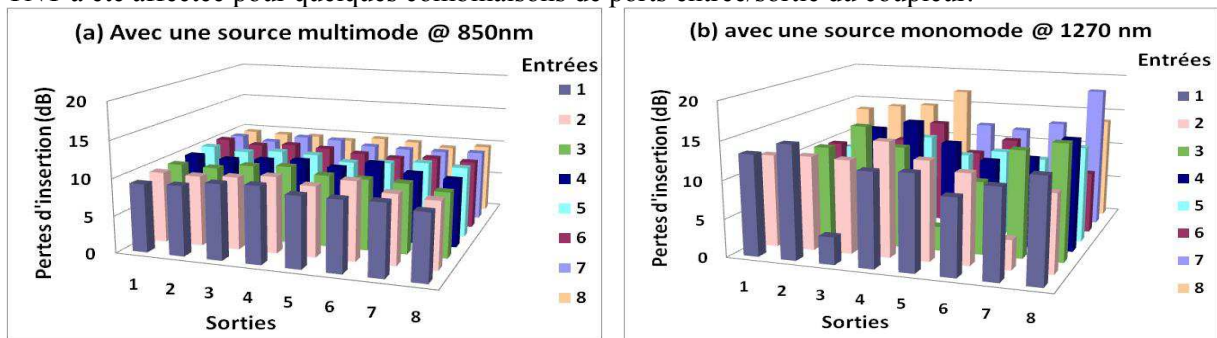


Fig. 3: Pertes d'insertion du coupleur multimode 8 x 8

CONCLUSION

La possibilité de véhiculer différents types de signaux et de proposer des services variés sur une infrastructure unique est un challenge important pour les futurs réseaux locaux domestiques. Nous avons démontré une solution performante et évolutive associant la technologie CWDM à une infrastructure passive N x N à base de fibre multimode. La fibre multimode est préférée pour son faible coût, en termes de système, de composants et de connectivité, par rapport à la fibre monomode. L'obstacle principal provient du manque de composants CWDM appropriés et se trouvant dans la fenêtre de transmission de la fibre multimode. Ce problème pourra être résolu dans le futur par l'extension de la grille CWDM à la fenêtre 850 nm et par l'apparition d'offres commerciales pour ces composants CWDM pour fibre multimode, particulièrement les VCSEL et les OADM.

REMERCIEMENTS

Ce travail est partiellement financé par le projet européen EU FP7 ICT ALPHA.

REFERENCES

- [1] J. Guillory et al., "Multiservice & multiformat home network based on a low cost optical infrastructure," ECOC 2009, papier 3.5.6.
- [2] Ph. Guignard et al., "Home Network based on CWDM Broadcast and Select technology," ECOC 2007, P133.
- [3] C.P. Tsekrekos and A.M.J. Koonen, "The Effect of Passive optical Components in Multimode Fibre Links Using Mode Group Diversity Multiplexing," IEEE/LEOS Benelux Chapter, 2006, Eindhoven, pp. 185-188.